Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science & Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
Journal of Studies on Color World, 12, 3(2022), 241-252
Article type: Review article
Open access

Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

A Review on the Different Methods of Clearing Disperse Dyes from the Surface of the Dyed Polyester Fibre

Armaghan Jozi[1], Hossein Izadan[1*]
Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P. O. Box: 8415683111, Isfahn, Iran.

ARTICLE INFO

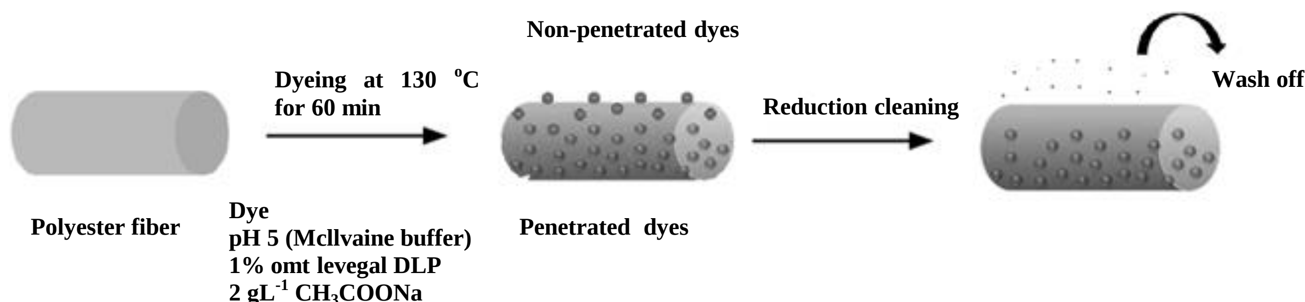
Article history:
Received: 30-08-2022
Accepted:22 -11-2022
Available online:21-12-2022
Print ISSN: 2251-7278
Online ISSN: 2383-2223

DOR:

Keywords:
Polyester fibres
Dyeing
Disperse dye
Reduction clearing
Alternative methods

ABSTRACT

The deposits of dispersed dyes on dyed polyester fibres are an important problem in polyester fibre dyeing that should be tackled properly. These dyes deteriorate the wash, rubbing, and sublimation fastness and the brightness of the dyed fibres, especially deep-dyed ones. Therefore, clearing these surface dyes is necessary. Conventionally, a reduction clearing process is used to remove the surface dyes, in which sodium dithionite, a reductant, and sodium hydroxide, an alkaline, are used. This process has a significant part in removing surface oligomers and auxiliaries, such as carriers. Unfortunately, this process is not environment friendly, and the derivatives of its chemicals are toxic to human health, and there are technological and economic issues associated with this process. In recent years, numerous research for removing surface dispersed dyes by alternative, less-pollutant, and more efficient processes have been proposed. These alternative processes include surfactants, enzymes, and other reductants, oxidative clearing, plasma, electrochemical methods, and the application of easily clearable synthesized dyes. Each of these proposed processes has its own pros and cons, and they have special needs. In the present review paper, various processes of clearing surface dispersed dyes from the dyed polyester fibres are investigated and compared with the traditional reduction-clearing process.



***Corresponding author**: izadan@iut.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

دسترسی آنلاین: www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ/ ۱۲، (۱۴۰۱)۳، ۲۵۲-۲۴۱
نوع مقاله: مروری
دسترسی آزاد

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

مروری بر روش‌های مختلف زدودن مـاده رنگـزای دیسـپرس از سـطح الیـاف پلـی‌اسـتر رنگرزی‌شده

ارمغان جوزی[۱]، حسین ایزدان[۲]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۲۷۸

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOR:

واژه‌های کلیدی:

الیاف پلی‌استر

رنگرزی

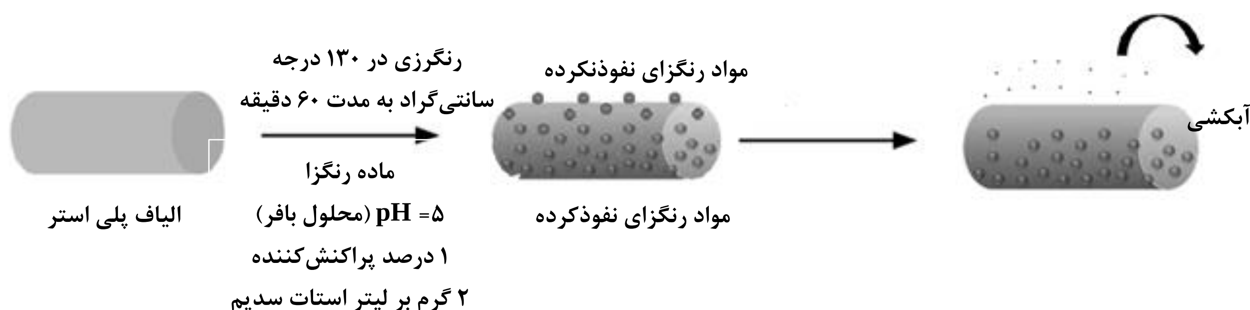
ماده رنگزای دیسپرس

شستشوی احیایی

روش‌های جایگزین

چکیده

رنگرزی الیاف پلی‌استر عموماً با موادرنگزای دیسپرس صورت می‌گیرد، وجود مواد رنگزای سطحی از مشکلات این رنگرزی است که سبب کاهش ثبات مرطوب، سایشی و تصعیدی این الیاف رنگرزی شده به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی بالا می‌گردد. لذا حذف موادرنگزای سطحی در این رنگرزی‌ها ضروری است. فرآیندی که به‌طورمعمول برای حذف این موادرنگزای سطحی انجام می‌شود، شستشوی احیایی است که در آن از دی تیونیت سدیم به‌عنوان احیاکننده و از هیدروکسید سدیم به‌عنوان قلیا استفاده می‌شود. این عملیات در زدودن الیگومرهای سطحی و نیز سایر مواد شیمیایی همراه الیاف رنگرزی‌شده مانند حامل نیز نقش دارد. متأسفانه این فرآیند آلاینده محیط‌زیست است و همچنین مشتقات حاصل از مواد کاربردی در آن، برای انسان مضر هستند و مسائل فناورانه و اقتصادی با این فرآیند همراه است. در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی با روش‌های جایگزین که دارای عملکردی مناسب اما با آلایندگی کمتر باشند، صورت پذیرفته است. ازجمله این روش‌های جایگزین می‌توان به استفاده از موادفعال‌سطحی، استفاده از آنزیم‌ها، استفاده از عوامل احیایی متفاوت، شستشوهای اکسیدی، روش کاتالیزور نوری، استفاده از پلاسما، روش الکتروشیمیایی و نیز استفاده از موادرنگزای دیسپرس خاص سنتزشده که به سادگی زدوده می‌شوند، اشاره کرد. هر یک از این فرآیندهای جایگزین، دارای مزایا و معایبی هستند و استفاده از آن‌ها نیازمندی‌های ویژه دارد. در مقاله حاضر، فرآیندهای مختلف زدودن موادرنگزای سطحی دیسپرس از الیاف پلی استر رنگرزی‌شده بررسی و مقایسه می‌شوند.



Corresponding author: izadan@iut.ac.ir

۱- مقدمه

الیاف پلی استر، به‌ویژه پلی اتیلن ترفتالات، مهم‌ترین لیف مصنوعی از نظر حجم تولید و کاربرد است که حدود ۵۲ درصد سهم بازار تولید الیاف در سال ۲۰۲۰ مربوط به این الیاف بوده است [۱]. رایج‌ترین نوع الیاف پلی‌استر از ترکیب پلی‌اتیلن ترفتالات با اتیلن گلیکول بدست می‌آید، اگرچه این الیاف می‌توانند از ترکیب اتیلن گلیکول با پلیمرهای دیگر مانند پلی متیلن ترفتالات، پلی بوتیلن ترفتالات، پلی اتیلن نفتالات، پلی کربنات، پلی لاکتید و پلی اتیلن اگزالات نیز ساخته شوند [۲]. شکل ۱ نحوه سنتز الیاف پلی‌استر با پلی‌اتیلن‌ترفتالات را نشان می‌دهد.

پلی‌استر، لیفی گرمانرم با مدول اولیه و استحکام کششی بالا است و ازنظر ابعادی در برابر عملیات حرارتی پایدار است و مقاومت خوبی در برابر چروک دارد. این الیاف جذب آب پایینی دارند و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد تنها ۰/۴ درصد جذب رطوبت دارند [۴]. الیاف پلی‌استر به علت ماهیت آب‌گریزی که دارند، در برابر بسیاری مواد شیمیایی در محلول‌ها و به‌ویژه در زیر دمای شیشه‌ای مقاوم هستند و اثر احتمالی چنین موادی تنها به سطح الیاف محدود می‌شود [۵].

مواد رنگزایی که به‌طورمعمول برای رنگرزی الیاف پلی‌استر استفاده می‌شوند، مواد رنگزای دیسپرس نام دارند. از این ماده رنگزا ابتدا برای رنگرزی استات سلولز و سپس به‌طور گسترده برای رنگرزی پلی‌استر استفاده شد. مواد رنگزای دیسپرس مورداستفاده برای پلی‌استر، معمولاً نسبت جرم به قطبیت بالایی دارند و نسبت میان آب‌گریزی و آب‌دوستی این مواد رنگزا به گونه‌ای است که افینیته مناسب به لیف پلی استر دارند و در صورت ایجاد شرایط مناسب، پراکنشی پایدار در آب ایجاد می‌نمایند [۶]. این مواد رنگزا ازلحاظ ساختار شیمیایی عمدتاً در گروه‌های آزو و آنتراکینون قرار می‌گیرند. تولید مواد رنگزای آزو راحت و ارزان است و به‌طورمعمول خواص ثباتی خوبی را از خود نشان می‌دهند [۷]. مشکلی که این مواد رنگزا دارند، تمایل آن‌ها به احیا در شرایط دمای بالای رنگرزی و به‌ویژه در حضور احیاکننده‌ها است [۸] که می‌تواند در مورد آمین‌های آروماتیک منجر به تولید مواد سرطان‌زا گردد. خوشبختانه اکثر مواد رنگزای آزوی تجاری جدید، این آمین‌های آروماتیک سرطان‌زا را تولید نمی‌کنند [۹]. مواد رنگزای آنتراکینون نسبت به مواد رنگزای آزو گران‌تر هستند [۱۰]. می‌توان از این مواد رنگزا برای رنگرزی مخلوط پلی‌استر با الیاف مصنوعی دیگر استفاده کرد و این نوع مواد رنگزا ثبات نوری خوبی دارند [۱۱].

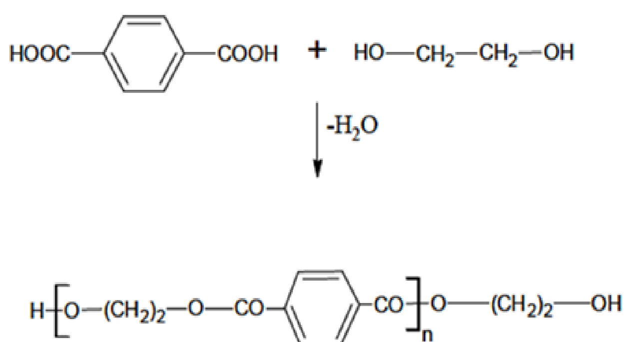
الیاف پلی استر قبل از رنگرزی نیاز به پیش‌عملیات دارند. اگرچه الیاف مصنوعی (همچون پلی‌استر) برخلاف الیاف طبیعی، عاری از هرگونه آلاینده‌های طبیعی هستند اما نیاز به مرحله آماده‌سازی قبل از رنگرزی دارند تا روغن‌ها، موم‌ها، و هرگونه عوامل کاتیونی حذف شوند. این عملیات معمولاً با ۲ گرم بر لیتر کربنات سدیم و ماده فعال‌سطحی آنیونی در ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود [۱۲].

می‌توان سازوکار انتقال ماده رنگزا از محلول رنگرزی به لیف را در چهار مرحله توضیح داد که ابتدا مولکول ماده رنگزا از ذرات ماده رنگزا جدا شده و به حالت تک‌مولکولی حل شده در حمام رنگرزی درمی‌آید. سپس این مولکول‌ها از محلول به سمت لیف حرکت کرده و روی سطح الیاف قرارمی‌گیرند. پس‌ازآن، به داخل الیاف نفوذ می‌کنند و درنهایت تثبیت ماده رنگزا در لیف اتفاق می‌افتد [۱۳]. در طی فرآیند رنگرزی ساختار الیاف بازشده، تا فضای کافی برای ورود مولکول‌های ماده رنگزا ایجاد شود. این باز شدن ساختار می‌تواند توسط مواد شیمیایی مانند کریر[1] و یا با روش‌های حرارتی انجام شود. سپس مولکول ماده رنگزا توسط نیروهای فیزیکی نگه‌داشته می‌شود و در نهایت ماده رنگزا داخل زنجیرهای پلیمر حبس فیزیکی می‌شود [۱۴]. با توجه به این موضوع، رنگرزی پلی‌استر با مواد رنگزای دیسپرس عمدتاً شامل سه روش استفاده از کریر، رنگرزی در دمای بالا و ترموزول[2] می‌شود [۱۵].

مواد رنگزای دیسپرس معمولاً خواص ثباتی خوبی روی پلی‌استر دارند. با این‌حال، به دلیل حلالیت کم، این مواد رنگزا تمایل به تجمع و رسوب روی سطح الیاف دارند. اگر این رسوبات حذف نشوند، می‌توانند بر درخشندگی، ثبات شستشویی، سایشی و تصعیدی ماده رنگزا تأثیر نامطلوبی بگذارند [۱۴].

۲- شستشوی احیایی به روش مرسوم

پس از رنگرزی، به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی متوسط به بالا، مولکول‌های ماده رنگزا که هنوز به الیاف نفوذ نکرده‌اند بر روی سطح منسوجات رسوب می‌نمایند [۱۶].



شکل ۱: نحوه سنتز الیاف پلی‌استر با پلی‌اتیلن‌ترفتالات [۳].

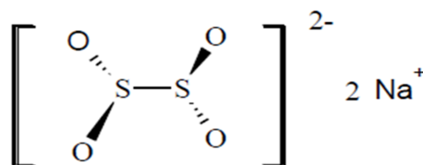
Figure 1: Method of synthesis of Polyethylene terephthalate polyester fibres [3].

[1] Carrier
[2] Thermosol

مولکول‌های ماده رنگزا که جذب سطحی شده‌اند اتصال ضعیفی به لیف دارند و زمانی که منسوجات توسط مصرف‌کنندگان استفاده می‌شوند، سبب تغییر رنگ تدریجی منسوجات شده یا در حین شستشو سبب لکه‌دار شدن منسوجات همراه می‌گردند یا حتی در حین پوشیدن سبب لکه‌دار شدن منسوجاتی که در تماس با آن هستند، می‌شود [۱۶]. همچنین وجود این مواد رنگزای سطحی سبب کاهش ثبات تصعیدی منسوجات می‌گردد و می‌توانند درخشندگی منسوج را نیز تغییر دهند [۱۷].

ویژگی مواد رنگزای دیسپرس، یعنی حلالیت کم در آب و تشکیل ذرات سطحی چندمولکولی، حذف مواد رنگزای سطحی را دشوار می‌کند. بنابراین، برای زدودن بهتر و کامل‌تر این ذرات، فرآیند شستشو با استفاده از عوامل احیاکننده مدنظر قرارگرفت. در کنار مولکول‌های ماده‌رنگزای باقیمانده سطحی، مشکل الیگومرهای سطحی نیز وجود دارد. الیگومرها پلی‌استرهایی با وزن مولکولی کوچک هستند که در طی پلیمریزاسیون پلی‌اتیلن گلیکول با اسید ترفتالیک تشکیل می‌شوند. پس از رنگرزی و با کاهش دما، الیگومرها از پلیمر خارج‌شده و به دلیل حلالیت کم در آب روی سطح الیاف رسوب می‌کنند. این رسوبات سطحی توسط مواد رنگزای دیسپرس رنگرزی نمی‌شوند. آن‌ها همچنین مراکزی را برای هسته‌زایی مواد رنگزای دیسپرس ایجاد کرده و درنتیجه پراکنش ماده رنگزا در محلول را مختل می‌کنند [۱۸]. این الیگومرها در آب محلول نیستند و شستشوی ساده آبی روش مؤثری برای زدودن آن‌ها نیست و برای زدودن این رسوبات الیگومری عموماً نیاز به شستشوی احیایی وجود دارد [۲۱-۱۹]. در شستشوی احیایی، الیاف پلی‌استر رنگرزی شده، در حمام احیایی قوی شامل هیدروکسید سدیم و دی‌تیونیت سدیم و در دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه عمل می‌شود. به‌طورمعمول دی‌تیونیت سدیم، به‌عنوان عامل احیاکننده برای شستشوی احیایی پلی‌استر استفاده می‌شود. سدیم‌دی‌تیونیت، همچنین به‌عنوان هیدروسولفیت‌سدیم نیز نامیده‌شده و معمولاً با نام تجاری هیدرو در صنعت شناخته می‌شود [۲۲]. شکل ۲ ساختار دی تیونیت سدیم را نشان می‌دهد.

بسیاری مواد رنگزای دیسپرس حاوی گروه آزو هستند. این گروه به راحتی در عملیات با عوامل احیاکننده به دو گروه آمینه تقسیم می‌شوند [۲۳].



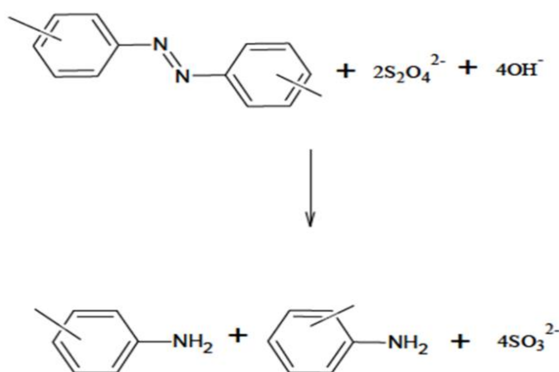
شکل ۲: ساختار دی تیونیت سدیم [۲۲].

Figure2: Structure of Sodiuom dithionite [22].

در مواد رنگزای دیسپرس بر پایه آزو، مکان‌های مزدوج[1] گسترده در مولکول وجود دارد. از بین رفتن این سامانه منجر به از بین رفتن رنگ در ماده‌رنگزا می‌شود. مطابق با شکل ۲-۲، شستشوی احیایی از خواص احیایی دی تیونیت سدیم، برای تخریب سامانه کانژوگاسیون مولکول‌های ماده‌رنگزا استفاده می‌کند. بنابراین دی‌تیونیت سدیم، ساختار ماده‌رنگزا آزو را با ارائه یک الکترون، به آمین های بی رنگ، تبدیل می کند. دو مول دی‌تیونیت برای احیا یک پیوند آزو موردنیاز است [۲۴]. شکل ۳ سازوکار شستشوی احیایی بر روی مواد رنگزای دیسپرس با ساختار آزو را نشان می‌دهد.

سازوکار شستشوی احیایی برای موادرنگزای آنتراکینون توسط سدیم‌دی تیونیت شامل افزودن یون دی‌تیونیت به اتم کربن هر گروه کربونیل است [۲۵]. این اتفاق سبب حل شدن موادرنگزای سطحی آنتراکینونی و زدودن آن‌ها می‌گردد. شکل ۴ سازوکار شستشوی احیایی بر روی موادرنگزای دیسپرس با ساختار آنتراکینونی را نشان می‌دهد.

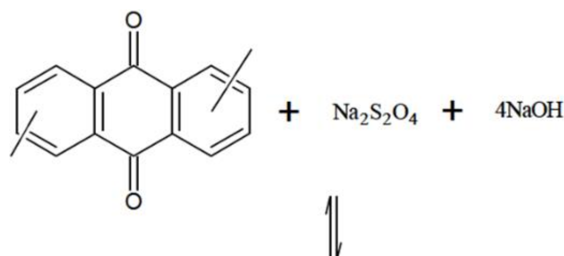
روش شستشوی احیایی مرسوم به دلیل احتمال تولید آمین‌های سرطان‌زا در موادرنگزای با ساختار شیمیایی آزو برای سلامتی انسان مضر بوده و همچنین تقاضای اکسیژن شیمیایی BOD[2] و تقاضای اکسیژن زیستی COD[3] آب را افزایش داده و آلاینده محیط‌زیست است. این روش زمان‌بر بوده و نیازمند انرژی حرارتی است [۲۶]. همچنین نیاز به تغییر pH از اسیدی در عملیات رنگرزی به قلیایی در شستشوی احیایی و سپس خنثی‌سازی محلول، از مشکلات دیگر شستشوی احیایی مرسوم است. به همین علت محققین همواره در تلاش بوده‌اند تا روشی مناسب‌تر را جایگزین شستشوی احیایی مرسوم کنند [۲۷].



شکل ۳: سازوکار شستشوی احیایی بر روی موادرنگزای دیسپرس با ساختار آزو [۲۴].

Figure 3: Mechanism of reduction clearing of Azo disperse dyes [24].

[1] Conjugation
[2] Biological Oxygen Demand
[3] Chemical Oxygen Demand



شکل ۴: سازوکار شستشوی احیایی بر روی موادرنگزای دیسپرس با ساختار آنتراکینونی [۲۵].
Figure 4: Mechanism of reduction clearing of anthraquinon disperse dyes [25].

۳- روش‌های جایگزین شستشوی‌احیایی‌مرسوم

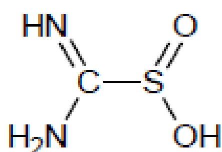
تحقیقات زیادی برای جایگزینی شستشوی‌احیایی‌مرسوم ارائه شده است. در ادامه، این روش‌ها و مزایا و معایب هر یک، در مقایسه با روش مرسوم ارائه می‌شود [۴۱-۲۸].

۳-۱- استفاده از عوامل احیاکننده دیگر

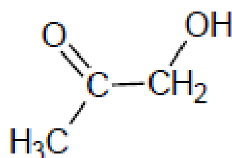
امروزه با توجه به معایب استفاده از دی‌تیونیت سدیم، تعدادی از تحقیقات به یافتن جایگزینی برای دی‌تیونیت سدیم اختصاص داده‌شده است. دو ترکیب آلی محلول در آب که موردتوجه خاص بوده‌اند، دی‌اکسیدتیواوره (فرمامیدین‌سولفونیک‌اسید) (شکل ۵) و هیدروکسی استن (شکل ۶) هستند که هر دو در شرایط قلیایی، به‌عنوان عوامل احیاکننده عمل می‌کنند [۲۸].

در این روش، شستشوی احیایی نمونه های رنگرزی‌شده، در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از دی‌اکسیدتیواوره یا هیدروکسی استن، انجام شد. پس‌ازانجام عملیات، ثبات شستشویی و ثبات سایشی نمونه‌ها بررسی شدند. با توجه به نتایج مشخص شد که استفاده از این روش‌ها، ماده رنگزای سطحی را حذف کرده و باعث افزایش ثبات شستشویی و سایشی آن شده است. در این روش استفاده از فرمامیدین‌سولفونیک‌اسید (دی اکسید تیواوره) باعث کاهش مقادیرBOD نسبت به روش شستشوی‌احیایی‌مرسوم شده بود [۲۸]. هنگام افزایش دما در محیط قلیایی، پیوند C-S موجود در فرمول شیمیایی فرمامیدین‌سولفونیک‌اسید، تحت شکافت ناجورکافت[1] قرار می‌گیرد و به اوره و اسیدسولفینیک، آبکافت می‌شود.

[1] Heterolytic



شکل ۵: ساختار شیمیایی فرمامیدین‌سولفونیک اسید [۲۸].
Figure 5: Chemical stracture of Formamidine sulfinic acid [28].



شکل ۶: ساختار شیمیایی هیدروکسی استن [۲۸].
Figure 6: Chemical stracture of Hydroxyacetone [28].

اسیدسولفینیک به آنیون سولفینات تبدیل می‌شود که خواص احیاکنندگی قوی از خود نشان می‌دهد. یون سولفینات با اکسیژن موجود در سامانه واکنش می‌دهد تا یون رادیکال سولفینات، رادیکال سولفیت و دیگر گونه‌های اکسیژن فعال همراه با سایر محصولات، تجزیه شده و درنهایت منجر به تشکیل سولفات شود. هیدروکسی‌استن، در محیط قلیایی و در دمای بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، خواص احیاکنندگی قوی از خود نشان می‌دهد. این ماده به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل و کربونیل و داشتن جرم مولکولی کم، محلول در آب است [۲۸].

۳-۲- استفاده از فرآیند مبتنی بر شستشو

در سال‌های اخیر نظراتی در زمینه عدم نیاز به شستشوی احیایی در رنگرزی پلی استر با ماده‌رنگزای دیسپرس وجود دارد. برکینشاو و کومار[2] از دمای نزدیک جوش در شستشوی بعد از رنگرزی پلی استر استفاده نموده و آن را بسیار موثر بیان کردند اما همان‌گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود، به دلیل استفاده از پربرات سدیم عملا باید روش آنها را روشی اکسیدی مشابه انچه در بخش ۳-۴-۱ آمده است، دانست [۲۹].

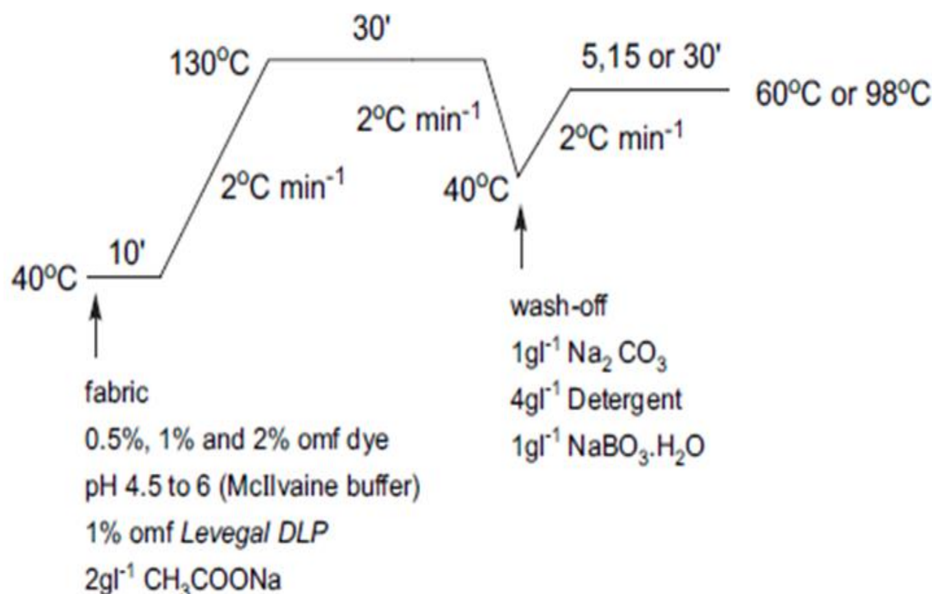
۳-۳- استفاده از موادفعال‌سطحی

از موادفعال‌سطحی نیز به عنوان عاملی برای شستشو و زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی روی پلی‌استر استفاده شده است که در ذیل توضیح داده می‌شوند.

۳-۳-۱- استفاده از موادفعال‌سطحی کاتیونی

قرنجیگ و همکارانش از موادفعال‌سطحی کاتیونی برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی از لیف پلی‌استر استفاده کردند [۳۰].

[2] Burkinshaw and Kumar



شکل ۷: منحنی عملیات رنگرزی و زدودن مواد رنگزای سطحی دیسپرس پیشنهادی برکینشاو و کومار [۲۹].
Figure 7: Dyeing curve and clearing of surface disperse dyes proposed by Burkinshaw and Kumar [29].

در تحقیق ایشان، به‌عنوان جایگزینی برای روش شستشوی‌احیایی‌مرسوم، از دودسیل‌تری‌متیل آمونیم برمید و دو ماده فعال سطحی کاتیونی دوقلو[1]، برای جذب موادرنگزای سطحی از پارچه پلی‌استر، استفاده شد.

مواد فعال سطحی کاتیونی دوقلو معمولاً به عنوان شوینده استفاده می شوند [۳۰]. این ماده دارای ویژگی هایی مانند فعالیت ضد باکتریایی خوب و حل شدن، مرطوب شدن و پخش شدن بهتر نسبت به موادفعال سطحی کاتیونی معمولی هستند. در این روش به‌ویژه ماده فعال سطحی کاتیونی دوقلو سبب حلالیت بیشتر موادرنگزای دیسپرس سطحی شده و باعث حذف آن‌ها می‌شود. برای مقایسه نمونه‌ها در این تحقیق از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنج عبوری UV-Vis استفاده شد. مطابق نتایج این تحقیق، افزایش دما و غلظت باعث افزایش حذف ماده‌رنگزا از سطح پارچه پلی‌استر می‌شوند. درنهایت، نتایج ثبات شستشویی و سایشی نشان‌دهنده امکان‌پذیری استفاده از این روش پیشنهادی در مقایسه با روش شستشوی احیایی مرسوم بود [۱].

۳-۳-۲- استفاده از موادفعال‌سطحی غیریونی

در تحقیقی با استفاده از اتوکسیلات‌های[2] الکلی اولیه و ثانویه که همگی بسیار زیست‌تخریب‌پذیر بوده و با در نظر گرفتن مزایای موادفعال‌سطحی، نشان‌داده‌شد که آن‌ها می‌توانند جایگزین دی‌تیونیت سدیم در فرآیند زدودن موادرنگزای سطحی دیسپرس شوند. در این روش برای زدودن ماده‌رنگزای دیسپرس سطحی روی پلی‌استر، از ماده فعال‌سطحی اتوکسیله غیریونی، برای فرآیند شستشو در pH و زمان و دماهای گوناگون استفاده شد. نتایج نشان داد که در pH های خنثی، ماده فعال‌سطحی توانسته است به‌طور مؤثری جایگزین دی‌تیونیت سدیم شود. نتیجه این فرآیند، ثبات شستشویی بهتر و کاهش BOD و COD بود [۳۱].

۳-۴- استفاده از روش‌های اکسیدی

در این روش، از عملیات شستشوی اکسایشی پلی‌استر، به‌عنوان جایگزین روش شستشوی‌احیایی‌مرسوم استفاده می‌شود. این روش معمولاً با ماده اکسنده پراکسیدهیدروژن و نیز ازن انجام می‌شود [۳۸-۳۲]. روش پیشنهادی برکینشاو و کومار[3] [۲۹] که در بخش ۲-۳ آمد، علی‌رغم آنکه در مقاله مربوطه به آن اشاره نشده‌است، به دلیل استفاده از سدیم پربرات که در دمای نزدیک جوش هیدروژن پراکسید ایجاد می‌کند، روشی اکسیدی است.

۳-۴-۱- استفاده از پراکسیدهیدروژن

در تحقیقی گومز و آلمدیا[4] پس از رنگرزی الیاف پلی استر با ماده رنگزای دیسپرس، نمونه‌های رنگرزی‌شده را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمامی حاوی پراکسیدهیدروژن و کربنات سدیم قراردادند. تغییرات رنگی بین نمونه‌های عمل‌شده و عمل‌نشده با استفاده از طیف‌سنج انعکاسی اندازه‌گیری شد و

[1] Gemini
[2] Ethoxylates
[3] Burkinshaw and Kumar
[4] Gomes and Almeida

همچنین آزمایش‌های ثبات شستشویی روی این نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که شستشوی‌اکسیدی به همان اندازه شستشوی احیایی مرسوم در آزمایش‌های ثبات رنگ مؤثر است. همچنین ادعا شد در روش شستشوی اکسیدی موادرنگزای سطحی دیسپرس با استفاده از پراکسیدهیدروژن، در مصرف آب، زمان و انرژی صرفه‌جویی شده و کاهش آلاینده‌ها نسبت به روش شستشوی‌احیایی‌مرسوم گزارش گردید [۳۲].

۳-۴-۲- استفاده از گاز ازن

استفاده از گاز ازن برای شستشوی پارچه‌های پلی‌استر رنگرزی شده با ماده‌رنگزای دیسپرس، رویکردی جدید در صنعت نساجی است. در ادامه تحقیقات انجام شده در این زمینه ارائه می‌شوند [۳۶-۳۳].

۳-۴-۲-۱- ازن‌زنی در آب مقطر خنثی

ازن گازی اکسنده با قابلیت اکسایش بالا است که در محیط‌های آبی به اکسیدهای ثانویه مانند $HO^{\bullet}$، $HO_2^{\bullet}$، $HO_3^{\bullet}$ و $HO_4^{\bullet}$ تجزیه می‌شود. این اجزای تولیدشده توانایی واکنش با موادی‌رنگزای سطحی، اکسیدکردن و درنهایت زدودن آنها از سطح لیف رنگرزی‌شده را دارند. در تحقیقی، برای زدودن موادرنگزای سطحی دیسپرس، حباب‌های ازن وارد راکتوری حاوی پلی‌استر و آب شده و قبل از خروج گاز از راکتور، از نمونه‌های پارچه غوطه‌ورشده، عبورداده شد. اختلاف رنگ نمونه‌های عمل‌شده و عمل‌نشده با گاز ازن و نیز خواص ثباتی بررسی شدند. نتایج نشان داد که در این روش، ثبات شستشویی افزایش‌یافته و COD کاهش می‌یابد. در انتها نتیجه‌گیری شد که این روش باعث صرفه‌جویی در مصرف آب، انرژی، زمان و کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود [۳۳].

۳-۴-۲-۲- ازن‌زنی به پارچه مرطوب در محفظه

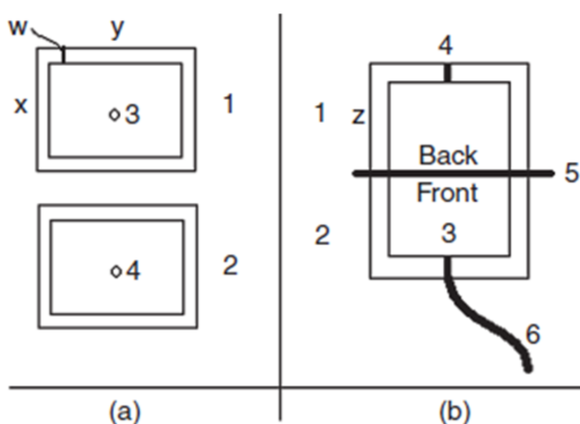
در این تحقیق برای زدودن موادرنگزای سطحی نمونه‌های رنگرزی شده پلی‌استر، از دمیدن گاز ازن خارج‌شده از تولیدکننده ازن بر روی نمونه‌های پارچه مرطوب استفاده شد. آزمایش‌های ازن‌زنی در محفظه‌ای خاص که شامل دو بلوک چوبی با یک ورودی گاز ازن و یک خروجی گاز ازن بود، انجام شد. مطابق شکل ۸ محفظه‌ای کوچک با قرار دادن دو بلوک چوبی (۱ و۲) بر روی‌هم، تشکیل شد. نمونه پارچه (۵) بین دو بلوک قرارگرفته و ازن (۶) از سوراخ ورودی (۳) در پایین به داخل محفظه وارد شد. ازن واردشده به پارچه دمیده شده و از سوراخ بالای محفظه (۴) خارج شد. آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام شد. آزمایش‌های ثبات رنگ انجام شده و نتایج نشان داد که زمان ازن‌زنی ۳ تا ۵ دقیقه برای دست‌یابی به ثبات شستشویی قابل‌مقایسه با نمونه عمل شده با فرآیند شستشوی‌احیایی‌مرسوم، بدون تفاوت رنگ قابل‌توجه، مناسب است. آزمون‌های استحکام کششی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که ازن آسیب تأثیرگذاری به پارچه‌ها وارد نکرده و استفاده از این روش باعث صرفه‌جویی در انرژی، زمان و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست شده است [۳۴].

۳-۴-۲-۳- ازن‌زنی در دستگاه رنگرزی جت

در این روش، از گاز ازن در دستگاه رنگرزی جت استفاده شد. برای تغذیه گاز ازن به دستگاه جت، انژکتور ونچوری[1] خاصی که روی لوله گردش محلول نصب شده بود، بکار گرفته شد. مطابق این روش گاز ازن در آب وارد می‌شود. این فرآیند برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی نیاز به زمان‌های ۳ تا ۱۰ دقیقه برای عمق‌های متوسط، و زمان‌های ۱۰ تا ۳۰ دقیقه برای عمق‌های تیره دارد. سپس اندازه‌گیری انعکاس پارچه‌های عمل‌شده و عمل‌نشده و آزمون ثبات شستشویی انجام شد و COD پساب عملیات زدودن موادرنگزای سطحی با گاز ازن نیز بر اساس روش استاندارد به دست آمد. نتایج نشان دادند که ثبات شستشویی نمونه‌ها مشابه روش مرسوم بود. در انتها نتیجه‌گیری شد که استفاده از این روش باعث کاهش هزینه، زمان و COD پساب فرآیند همراه با زدودن مناسب موادرنگزای سطحی است [۳۵].

۳-۴-۲-۴- استفاده از نانوحباب‌های ازن

اخیراً استفاده از نانوحباب در صنایع مختلف مانند تصفیه آب و نساجی رایج شده است. در صنعت نساجی از این نانوحباب‌ها برای تصفیه پساب‌های حاصل از رنگرزی و تکمیل نساجی استفاده‌شده است. استفاده از نانوحباب‌ها دارای مزایای مختلف مانند سطح جانبی مخصوص بزرگ، بازده انتقال جرم گاز-مایع بالا، زمان ماندگاری طولانی، تولید رادیکال‌های آزاد که سبب کاهش آلاینده‌ها می‌شود، است.



شکل ۸: سامانه آزمایشگاهی برای عملیات با گاز ازن [۳۴].

Figure 8: Exprimental system for Ozone treatment [34].

[1] Venturi

در تحقیقی که در دانشگاه صنعتی اصفهان در حال انجام است، از نانوحباب‌های ازن برای زدودن مـوادرنگزای سـطحی دیسـپرس از روی پارچه پلی‌استر رنگزی‌شده، اسـتفاده مـی‌شـود. در ایـن روش پـس از رنگزی، نمونه‌ها داخـل سـامانه قـرار گرفتـه و عملیـات بـا اسـتفاده از نانوحباب‌های ازن روی آن‌ها انجام می‌شـود. نتـایج اولیـه ایـن تحقیـق بیانگر زدودن سریع موادرنگزای سطحی همراه با خواص ثبـاتی مشـابه با نتایج حاصل از روش شستشوی‌احیایی‌مرسـوم اسـت [۳۶]. شـکل ۹ نمایی از سامانه تولید نانوحباب هوا را نمایش می دهد. قابل ذکر اسـت کـه در تحقیـق دانشـگاه صـنعتی اصـفهان، گـاز ورودی بـه سـامانه نانوحباب‌ساز، ازن است که با استفاده از سامانه جانبی تولید ازن ایجـاد می‌گردد.

۳-۵- استفاده از روش کاتالیزگر نوری

در این روش زدودن ماده‌رنگزا بر پایه عملیات کاتـالیزور نـوری[1] روی پلی‌استر رنگزی شده با ماده‌رنگزای دیسپرس، به‌وسیله تـابش پرتـو فرابنفش و استفاده از پراکسیدهیدروژن انجام شـد. پـس از رنگـزی نمونه‌های پارچه پلی‌اسـتر بـا مـاده‌رنگـزای دیسـپرس، نمونـه‌هـا بـا غلظت‌های مختلف پراکسیدهیدروژن و در مقادیر مختلـف pH عمـل شدند. سپس نمونه‌ها در زمان‌های مختلـف و در دمـای اتـاق، تحـت تابش فرابنفش با طـول‌مـوج ۲۵۴ نـانومتر، قـرار گرفتنـد. درنهایـت، آزمایش‌های اخـتلاف رنـگ، ثبـات شستشـویی و اسـتحکام کششـی نمونـه‌هـا انجـام‌شـد. بـر اسـاس نتـایج، مشـخص شـد کـه در روش کاتالیزوری نوری، ثبات شستشویی مشابه نتایج حاصل از شستشـوی احیایی مرسوم و بدون تفاوت در اختلاف رنگ بود [۳۷].

۳-۶- استفاده از پلاسما

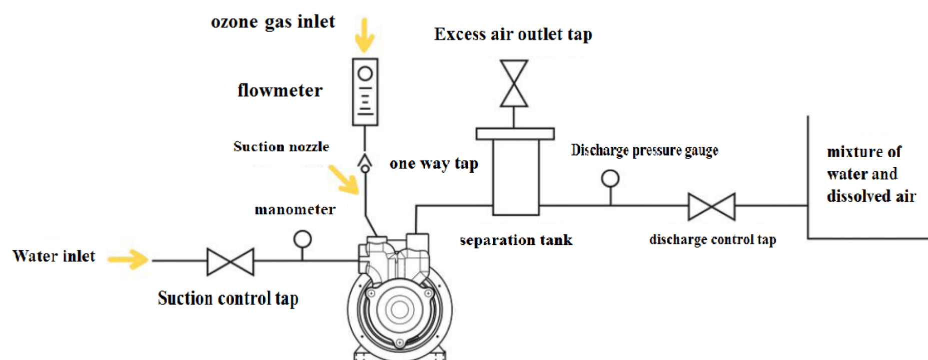
مجموعه‌ای از الکترون‌ها، ذرات دارای بار مثبـت یـا منفـی، اتـم‌هـای خنثی، پرتوهای UV و غیره که به طورکلی خنثی هستند، پلاسما نام دارند. پلاسما حالت چهارم ماده اسـت کـه در آن محـدودیتی بـرای غلظت ذرات وجود ندارد و در محدوده‌ی وسـیعی از دماهـا و فشـارها قابل کنترل است. پلاسما توانایی تغییر ویژگی‌های سطحی مواد بدون اثرگذاری بر خواص توده و بدون مصرف آب و مـواد شـیمیایی را دارا است [۳۸].

فرآینـدهای شـیمیایی در نسـاجی همـواره بـا مصـرف آب و مـواد شیمیایی و تولید آلاینده‌های شیمیایی و سمی همراه بـوده اسـت. ایـن امر برای شستشوی احیایی مرسوم موادرنگزای رسوب‌داده بر سطح پلی استر رنگزی‌شده با ماده رنگزای دیسپرس نیز وجـود دارد. بـرای رفـع این معضل، در تحقیقی پارچه‌های پلی‌اسـتر بـا مـوادرنگزای دیسـپرس رنگزی شدند. پس از رنگزی نمونه‌ها در زمان‌های مختلف با پلاسمای DBD[2] اکسیژن/آرگون عمـل شـدند. پلاسـمای DBD بوسـیله تخلیـه الکتریکی بین دو الکترود که بوسیله صفحه عایقی از هـم جداشـده‌انـد، ایجاد می‌شود.این پلاسما با جریان متناوب، ولتاژ بالا و بسامد کم ایجاد می‌شود. در این روش، نمونـه‌هـای رنگـرزی‌شـده در محفظـه دسـتگاه پلاسما قرارگرفته و در ابتدا محفظه دستگاه توسـط گازهـای آرگـون و اکسیژن پر شد. سپس بسامد ۱ کیلوهرتز و ولتاژ ۳ کیلوولت به دستگاه اعمال شده و عملیات در زمان‌های مختلف انجام شد. نتـایج نشـان داد که ثبات‌های شستشویی و سایشی در نمونه‌های عمل‌شـده بـا پلاسـما مشابه نمونه‌های عمل‌شده بـا روش شستشـوی احیـایی مرسـوم اسـت [۳۹].

۳-۷- استفاده از آنزیم

ازنظر شیمیایی، آنزیم‌ها پروتئین‌هایی هستند که از بقایای اسیدآمینه که تعداد آن‌ها از صد تا چند هزار واحد است، تشکیل‌شده‌انـد. ازنظـر عملکردی، آنزیم‌ها کاتالیزگر هستند. آنزیم‌ها توسط سلول‌هـای زنـده ترشح می شوند تا واکنش های متعددی را در موجودات زنـده تسـریع کنند.

[1] Photocatalytic
[2] Dielectric barrier discharge



شکل ۹: طرح‌واره سامانه تولید نانوحباب هوا [۳۶].

Figure 9: Schematic of an air nanobubble generator [36].

ازآنجایی که آنزیم‌ها محصولات سلول‌های زنده هستند و برای حفظ متابولیسم سلول زنده استفاده می‌شوند، به‌طورکلی به آن‌ها کاتالیزگرهای زیستی می گویند تا از کاتالیزگرهای شیمیایی متمایز شوند. ازآنجایی‌که آنزیم‌ها پروتئین هستند، ازنظر شیمیایی، ویژگی‌های مولکولی اسیدهای آمینه را نشان می‌دهند. محققان از آنزیم‌های مختلفی برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی از روی الیاف پلی استر رنگرزی‌شده استفاده کرده‌اند که در ادامه در مورد آن‌ها توضیح داده می‌شود [۴۰].

۳-۷-۱- استفاده از آنزیم NS29076

در این روش پس از رنگرزی، نمونه‌ها داخل حمامی حاوی آنزیم در دماهای گوناگون در زمان‌های مختلف عمل شدند. این آنزیم نوعی آنزیم کوتیناز[1] است که سبب آبکافت پیوندهای استری می‌شود و متعلق به دسته آنزیم‌های استراز[2] است که می‌تواند پیوندهای پلی‌استر را به‌طور سطحی آبکافت کند و سبب تسهیل حذف مواد رنگزای تجمع‌کرده، شود [۴۰]. برای تهیه این آنزیم، واکنش اورتو-نیتروفنیل بوتیرات و آب در حضور محلول آنزیم استراز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۷/۵ انجام شد. محلول آنزیم استراز از ۰/۵ تا ۱ واحد در میلی‌لیتر استراز در معرف سرد بافر پتاسیم فسفات تهیه شده بود [۴۱]. ارزیابی ماده رنگزا باقیمانده روی سطح الیاف و آزمون‌های ثبات رنگی و سایشی انجام شده و نتایج نشان‌داد که نمونه‌ها به‌طورکلی از همان نتایج روند شستشوی احیایی با دی تیونیت سدیم، پیروی کرده بودند [۴۰].

۳-۷-۲- استفاده از آنزیم لاکاز[3]

لاکاز آنزیمی اکسیدوردوکتاز[4] است. اکسیدوردوکتاز ها آنزیم‌هایی هستند که انتقال هیدروژن، اکسیژن یا الکترون‌ها را از بستری به بستر دیگر کاتالیز می‌کنند. لاکاز به‌صورت خارج سلولی توسط قارچ‌هایی خاص و همچنین توسط گیاهان، برخی حشرات و باکتری‌ها تولید می‌شود. این ماده، ماده‌رنگزا را بدون شکستن پیوند دوگانه آزو تجزیه می‌کند که از تشکیل آمین آروماتیک سرطان‌زا جلوگیری می‌کند. در این فرآیند نمونه‌ها پس از رنگرزی در حمامی شامل ۱۰۰۰ واحد در لیتر لاکاز و ۱-هیدروکسی بنزوتریازول در دماها و زمان‌های مختلف قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها یک‌بار در آب در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و بار دیگر در آب در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شستشو داده‌شده و درنهایت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. ارزیابی ماده‌رنگزای باقیمانده روی سطح الیاف و آزمون‌های ثبات شستشویی و سایشی انجام شد و نتایج نشان‌داد که پس از عملیات با لاکاز، بهبود جزئی در ثبات سایشی خشک همه نمونه‌های رنگرزی‌شده رخ‌داده بود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تغییر در درخشندگی و اختلاف رنگ نمونه‌ها پس از عملیات با آنزیم و دی تیونیت سدیم تقریباً مشابه بوده است [۴۰].

۳-۸- استفاده از روش احیا الکتروشیمیایی

احیا[5] فرآیند انتقال الکترون بین دو گونه است. گونه ای که الکترون می‌دهد عامل احیاکننده است و گونه‌ای که الکترون می‌گیرد در حال احیا است. عامل احیاکننده در این فرآیند الکترون‌های خود را ازدست‌داده و دچار اکسایش می‌شود. به‌طور مشابه، احیای الکتروشیمیایی شامل دو گونه است. عامل احیاکننده و گونه‌ای که باید احیا شود. مانند فرآیندهای شیمیایی، فرآیندهای الکتروشیمیایی تحت تأثیر دما، فشار یا غلظت قرار می گیرند. مزیت فرآیندهای الکتروشیمیایی این است که واکنش نیازی به انرژی حرارتی ندارد و واکنش در دماهای پایین تر، امکان پذیر است. همچنین تمامی محصولات فرآیند الکتروشیمیایی قابل احیا هستند و درنتیجه می‌توان بار پساب را به‌طور چشمگیری کاهش داد [۴۰].

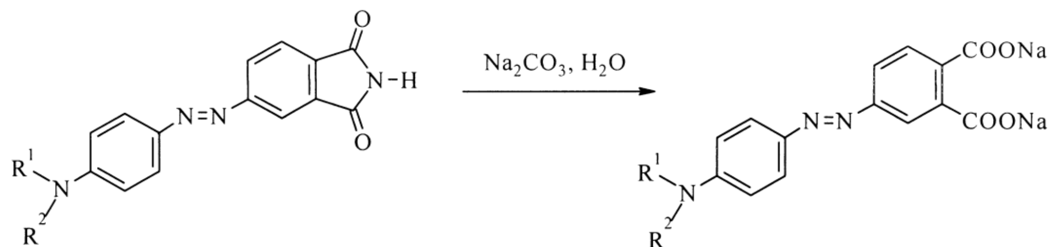
در تحقیقی که توسط عالم انجام شد، پس از رنگرزی برای شستشوی احیایی الکتروشیمیایی، از کلرید آهن (III) و نمک سدیم و ۱۰،۹- آنتراکینون-۲- سولفونیک اسید یا تری اتانل آمین یا سدیم D-گلوکونات به‌عنوان عوامل کمپلکس کننده برای کلرید آهن (III) استفاده نمودند. آزمایش‌ها در شرایط مختلف انجام شده و سپس شستشوی نمونه‌ها صورت گرفت. درنهایت نمونه‌ها در ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نتایج نشان داد که پس از شستشوی احیایی الکتروشیمیایی، زدودن موادرنگزا در زمان مشابه با شستشوی احیایی مرسوم انجام شده است [۴۰].

۳-۱۰- استفاده از موادرنگزای خاص

۳-۱۰-۱- استفاده از موادرنگزای دیسپرس حل‌شونده در قلیا

یکی از راه‌های جایگزین زدودن موادرنگزای سطحی پلی‌استر به روش مرسوم، استفاده از موادرنگزای حل شونده در قلیا است که نیاز به احیاکننده برای شستشوی بعد از رنگرزی ندارند و به‌راحتی با عملیات قلیایی در آب حل و از سطح پلی استر جدا می‌شوند. کوه و کیم[6] سه ماده‌رنگزای دیسپرس آزوی حاوی حلقه فتالیمید را سنتز نمودند. در شرایط قلیایی نسبتاً ملایم، حلقه مولکول موادرنگزای دیسپرس حاوی فتالیمید باز شده و به موادرنگزای محلول در آب تبدیل می‌شوند (شکل ۱۰) [۴۲].

[1] Cutinase
[2] Esterase
[3] Laccase
[4] Oxidoreductaze
[5] Redox
[6] Koh and Kim



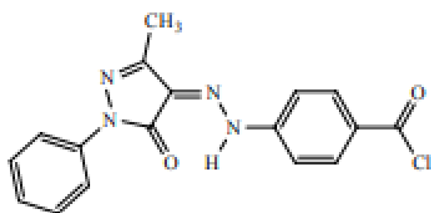
شکل ۱۰: بازشدن حلقه فتالیمید در شرایط قلیایی ملایم و تولید نمک کربوکسیلات محلول در آب [۴۲].
Figure 10: Phthalimide ring opening under mild alkaline condition and the production of water-soluble carboxylate salt [42].

موادرنگزای دیسپرس حاوی گروه‌های کربوکسیلیک‌استر (شکل ۱۱) [۴۳] و موادرنگزای حاوی گروه‌های فلوروسولفونیل (شکل ۱۲) [۴۴] دیگر موادرنگزایی هستند که درصورتی که بعد از رنگزری روی سطح پلی استر قرارگیرند، با عملیات قلیایی زدوده می‌شوند. در مورد موادرنگزای دیسپرس حاوی فلوروسولفونیل، گروه فلوروسولفونیل می‌تواند تحت شرایط قلیایی ملایم به موادرنگزای محلول در آب که حاوی گروه‌های سولفونات هستند، تبدیل شود [۴۳]. این روش علاوه‌بر حذف احیاکننده که موجب کاهش آلایندگی محیط‌زیست می‌شود احتمال ایجاد آمین‌های سرطان‌زا در اثر احیای گروه آزو را از بین می‌برد [۴۲].

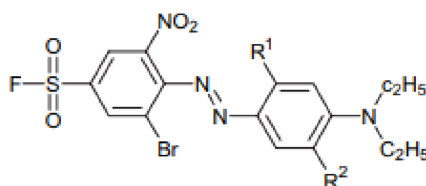
۳-۱۰-۲- استفاده از موادرنگزای دیسپرس با حلالیت موقت

کیم و همکارانش[1] موادرنگزای دیسپرسی با حلالیت موقت سنتز کردند که حاوی گروه وینیل‌سولفون هستند. این موادرنگزا در حین رنگزری و در حضور سولفیت سدیم یا بی‌سولفیت سدیم و در شرایط مناسب، به‌تدریج آبکافت شده، آب‌گریز می‌گردند و به پلی‌استر تمایل پیدا می‌کنند [۴۵]. آن‌ها در تحقیقی دیگر با استفاده از این خصوصیت که آنیون سولفیت می‌تواند در دمای اتاق به‌صورت برگشت‌ناپذیر با گروه وینیل سولفون موادرنگزای دیسپرس نامحلول‌شده مذکور واکنش دهد، موادرنگزای سطحی روی پلی‌استر رنگزری‌شده را به صورت موفقت‌آمیزی حل نموده و از سطح پلی‌استر زدودند. در این روش پس از رنگرزی، جهت حذف موادرنگزای سطحی از پلی‌استر، غلظت‌های گوناگون آنیون‌های سولفیت یا بی‌سولفیت به حمام اضافه شدند. این عمل منجر به‌اضافه شدن بار منفی به ماده‌رنگزا و تبدیل آن‌ها به مشتق محلول با تمایل کم به الیاف پلی‌استر و درنتیجه حذف موادرنگزای سطحی شدند. در انتهای این عملیات، خواص ثبات شستشویی و سایشی پارچه عمل شده مشابه شستشوی احیایی مرسوم بود و ادعا شده است که استفاده از این موادرنگزا سبب کاهش مصرف آب، هزینه تصفیه‌پساب و کاهش زمان فرآیند می‌شود [۴۶]. شکل۱۳ واکنش یون‌های سولفیت با گروه وینیل سولفون موادرنگزای موردنظر را نشان می‌دهد.

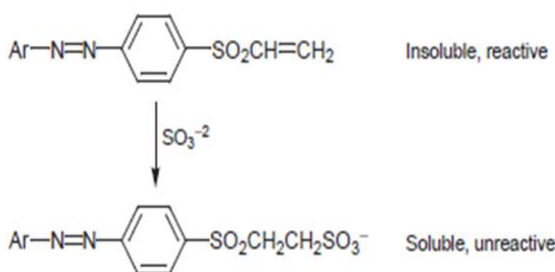
[1] Kim



شکل ۱۱: رنگزای دیسپرس آزو حاوی کربوکسیلیک استر[۴۳].
Figure 11: Azo disperse dye containing the Carboxylic ester [43].



شکل ۱۲: رنگزای دیسپرس آزو حاوی فلوروسولفونیل [۴۴].
Figure 12: Azo disperse dye containing the Fluorosulphonyl [44].



شکل ۱۳: واکنش یون‌های سولفیت با گروه وینیل سولفون ماده‌رنگزای دیسپرس [۴۶].
Figure 13: Reaction of Sulphite ions with Vinylsulphone disperse dye [46].

۴- نتیجه‌گیری

شستشوی‌احیایی معمولاً به عنوان عملیاتی برای زدودن موادرنگزای سطحی پلی‌استر رنگزری شده با ماده‌رنگزای دیسپرس انجام می‌شود. این فرآیند به‌طور مرسوم به روش احیایی و با استفاده از دی تیونیت سدیم و در شرایط قلیایی انجام می‌شود. به دلیل برخی مشکلات

زیست‌محیطی و تأثیرگذار بر سلامتی انسان مرتبط با شستشوی احیایی مرسوم و نیز تغییرات pH از اسیدی در رنگرزی به قلیایی در فرآیند مزبور، روش‌های جایگزین متعددی ارائه‌شده‌اند. اگرچه در برخی موارد عنوان می‌شود که به دلایل پیشرفت در فرمول‌بندی موادرنگزا و توسعه دستگاه‌های رنگرزی می‌توان شستشوی بدون احیاکننده معمولی در دمای بالا را جایگزین شستشوی احیایی مرسوم نمود، به دلیل نیاز به شستشوی احیایی برای رنگرزی الیاف آزاد، بسته‌های نخ، ماشین رنگرزی بیم، سامانه رنگرزی ترموزول، رنگرزی الیاف میکرو و نیز در مخلوط الیاف پلی‌استر با سایر الیاف به‌ویژه پنبه و الاستان، بایستی در انجام این روش به‌ویژه در عمق‌های رنگرزی متوسط و تیره دقت نظر داشت. در مقاله مروری حاضر، ضمن توضیح روش شستشوی احیایی مرسوم، درباره انواع روش‌های جایگزین زدودن موادرنگزای سطحی روی الیاف پلی استر، مانند استفاده از سایر عوامل احیاکننده، شستشوی در دمای بالا، استفاده از مواد فعال سطحی، استفاده از آنزیم‌ها، روش کاتالیزور نوری، روش احیا الکتروشیمیایی، شستشوی‌اکسیدی، استفاده از پلاسما و استفاده از موادرنگزای خاص بحث شد و نتایج ثباتی، خواص رنگی، مشخصات پساب فرآیند جایگزین و نیز تأثیر این روش‌های جایگزین بر استحکام الیاف پلی‌استر عمل‌شده، بحث شد. گزارش‌های ارائه‌شده توسط محققان بیانگر این موضوع است که در بسیاری از این روش‌ها زمان، مصرف انرژی، هزینه و آلاینده‌های محیط‌زیست کاهش یافته بود و نتایج ثباتی و خواص رنگی و استحکام الیاف مشابه روش شستشوی احیایی‌مرسوم بود. در هیچ‌کدام از تحقیقات راجع به کاربردهای جانبی شستشوی‌احیایی‌مرسوم، یعنی امکان‌پذیری زدودن حامل باقیمانده و نیز حذف الیگومرهای سطحی نتیجه‌ای ارائه نشده است. علی‌رغم نتایج ادعاشده در روش‌های جایگزین، هنوز روش شستشوی احیایی با استفاده از دی تیونیت سدیم و قلیا، روش مورداستفاده در صنایع نساجی برای زدودن موادرنگزای دیسپرس سطحی از روی الیاف پلی‌استر است و به نظر می‌رسد برای جایگزینی نهایی با روش شستشوی احیایی مرسوم، نیاز به ارائه نتایج حاصل از آزمایش‌های واقعی در سالن‌های رنگرزی و نیز بررسی تأثیر این روش‌های جایگزین بر دلایل فرعی انجام شستشوی‌احیایی‌مرسوم مثلاً زدودن الیگومرهای سطحی است. باتوجه به نتایج می‌توان استنباط کرد که در بین روش‌های جایگزین، استفاده از روش اکسیدی به ویژه استفاده از گاز ازن می‌تواند بهترین روش در مقیاس صنعتی باشد. همچنین استفاده از موادفعال‌سطحی آسان و ارزان است و می‌تواند در مواردی جایگزین خوبی برای روش شستشوی احیایی مرسوم باشد.

تشکر و قدردانی:

مقاله حاضر از بخش اول پایان‌نامه کارشناسی ارشد مؤلف اول مقاله که در دانشگاه صنعتی اصفهان در حال انجام است، استخراج شده است.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

۵- مراجع

1. L. R. Pepper, preferred fibres and materials market report 2021, Textile Exchange, **2021.**
2. K. Perepelkin, "Polyester fibres abroad in the third millennium". Fibre Chem. 33, 333-339, **2001**.
3. A. Ketema, A. Worku, "Review on intermolecular forces between dyes used for polyester dyeing and polyester fiber", J. Chem. Dio: 10.1155/2020/6628404, **2020**.
4. D. M. Nunn, "*The dyeing of synthetic-polymer and acetate fibers*, The Dyers Company Publications Trust: Bradford", UK, **1979**.
5. M. Clark, "*Handbook of textile and industrial dyeing*, woodhead publishing", UK, Vol.1, **2011**.
6. J. Park, J. Shore, "*Practical dyeing (fibre types and dyeing processes),* society of dyers and colourists", UK, Vol. 2, **2004**.
7. Y. Ikada, and H. Tsuji, "Biodegradable polyesters for medical and ecological applications", Macromolecular Rapid Communications, 21, 117-132, **2000**.
8. J. F. Dawson, "Azobenzene disperse dyes - past development and future prospects", J. Soc. Dyers Colour. 107, 395-400, **1991**
9. H. K. Rouette, "*Encyclopedia of Textile Finishing*", SpringerVerlag, Berlin, **2001**.
10. J. F. Dawson, Developments in disperse dyes, "Review of progress in coloration and related topics", 3, 18-25, **1972**.
11. P. W. Leadbetter, and A.T. Leaver, "Disperse dyes - the challenge of the 1990s: (Meeting demands for increasingly higher levels of wash fastness in the exhaust dyeing of polyester/cellulosic blends)" , Review of Progress in Coloration and Related Topics, Color. Technol. 19, 33-39, **1989**.
12. G. E. Krichevskii, "Textile materials made from polyester fibres - A most difficult material to color", Fibre Chem. 33, 364-367, **2001**.
13. J. Odvkrka, H. Schejbalova, "The effect of dispersing agents on the dyeing of polyester with a disperse dye", J. Soc. Dyers Colour. 13, 30-34, **1994.**
14. S. Vavilova, N. Prorokova, and Y. Kalinnikov, "Effect of surfactants on migration of cyclic Poly(Ethylene Terephthalate) oligomers during dyeing of polyester fabric", Fibre Chem. 33, 372-375, **2001**.
15. J. N. Chakraborty, "*Fundamentals and practices in colouration of textiles*", Woodhead Publishing, India, **2010**.

16. J. R. Asplan, "Chapter 8: disperse dyes and their application to polyester", Text. Chem. Color., 24(12), 18-23, **1992**.
17. M. Dodangeha, E. Pajootana, M. Mohammadianb, N. S. Allenc, R. Eskandari Fard, "Alkali-clearing process optimization of the newly synthesized disperse dye and its promising removal from wastewater using electrocoagulation", Desalin. Water Treat. 57, 4641-4651, **2014.**
18. J. Shore, "Colorants and Auxiliaries - Organic Chemistry and Application Properties", J. Soc. Dyers Colour, UK, Vol. 2, **2002.**
19. J. Park, J. Shore, "Practical Dyeing - Fibre Types and Dyeing Processes", J. Soc. Dyers Colour, UK, Vol. 2, **2004.**
20. H. Li, L. Pei, H. Zhang, Z. Wang, M. Asad Saleem, O. Kamal Alebeid, J. Wang, "Extraction of cyclic oligomer and their influence on polyester dyeing in a silicone waterless dyeing system", Polym. 13, 3687, **2021**.
21. S. M. Burkinshaw, "*Chemical principles of synthetic fiber dyeing*", Chapman & Hall, Glasgow, **1995**.
22. S. V. Makarov, "Recent trends in the chemistry of sulfur-containing reducing agents", Russ. Chem. Rev. 70, 885-895, **2001**.
23. R. G. Rinker, "*Studies in the Chemistry of Sodium Dithionite*", California Institute of Technology, Pasadena, California, **1959**.
24. M. Kolb, P. Korger, B. Funke, "Decolourization of textile waste water by dithionite", Melliand. Int. Textil. Rep. 69, 286-291, **1988**.
25. U. Baumgarte, "Reduction and oxidation processes in dyeing with vat dyes", Melliand Textilberichte, 68, 189-195, **1987**.
26. A. D. Cunningham, "Identifying critical machinery and dyeparameters of successful rapid dyeing of polyester", Text. Chemists and Colorists, 28, 23–31, **1996**.
27. W. Tiedemann, J. Schad, "Reduction clearing of polyester dyeings from its ecological and economic aspects", Melliand. Int. Textil. Rep. 79, 230 - 232, **1998**.
28. A. Aleema, R. M. Christieb, "The clearing of dyed polyester. Part 1. A comparison of traditional reduction clearing with treatments using organic reducing agents", Color. Technol. 132, 280-296, **2016**.
29. S. M. Burkinshaw, N. Kumar., "The reduction clearing of dyed polyester. Part 1: Colour strength", Dyes Pigm. 76, 799-809, **2008**.
30. M. Safa, K. Gharanjig, R. Khajavi, M. Jalili, "A new method for clearing dyed polyester fabrics by Gemini cationic surfactants", J. Surfactants Deterg, 16, 95-104, **2013**.
31. S. D. Kiruthika, R. Ugamoorthi, C. Venkatachalapathi, S. Ramarethinam, "sustainable production by modifying reduction clearing in polyester dyeing", functional textiles and clothing, Conference paper, Springer, Singapore, 383-403**, 2019**.
32. J. R. C. Gomes, L. Almeida, "*Oxidative clearing of polyester and post-bleaching of cotton: a novel shorter process with better fastness*", Asian Institute of Research. Colourage: Annual Edition 47, 49-52, **2007**.
33. H. A. Eren, "Simultaneous afterclearing and decolorisation by ozonation after disperse dyeing of polyester", Color. Technol, 123, 224-229, **2006**.
34. H. A. Eren, D. O. S. Eren. "Afterclearing of disperse dyed polyester with gaseous ozone", Color. Technol, 128, 75-81, **2011**.
35. S. Gundogana, H. A. Eren, "Practical realisation of ozone clearing after disperse dyeing of polyester", Color. Technol, 130, 357-362, **2014**.
36. Armaghan jozi," Investigation into the feasibility of the reduction clearing of disperse dyes on polyester fibers using ozone nanobubbles", Master's Thesis, Textile department, Isfahan university of technology, in progress.
37. S. Eren, "Photocatalytic clearing of disperse dyed polyester", AATCC J. Res, 6, **2019**.
38. A. Noorani Sanjabad , A. Nematollahzadeh, N. Sepehri Javan, "Decolorization and treatment of colored wastewater using dielectric barrier discharge cold plasma reactor", J. Stud. Color world, 11, 35-48, **2021**
39. M. Aghili, H. Izdan, "Reduction clearing of polyester with DBD oxygen/argon atmospheric plasma", National Conference on Dyestuffs, Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran, **2018.**
40. A. Aleem, "An Investigation of Alternatives to Reductive Clearing in the Dyeing of Polyester", PhD thesis, School of Textiles & Design و Heriot Watt University, UK, **2013**.
41. Sigma-Aldrich, *Enzymatic Assay of esterase (EC 3.1.1.1), Product Nos. E-9636 and E-0887*, 1997, Sigma-Aldrich Inc. p. 3.
42. J. S. Koh, J. P. Kim, "Synthesis of Phthalimide-based alkali-dischargeable Azo disperse dyes and analysis of their alkali hydrolysis mechanism", Dyes Pigm. 37, 265-272, **1998.**
43. Z. Cui, X. Cheng, X. Li, H. Lu, X. Wang, W. Chen, "Facile synthesis and properties of alkali-clearable azo disperse dye containing a carboxylic ester moiety", Chinese Chemistry Letter, 25, 1121-1124, **2014**.
44. J. Koh, "Alkali-hydrolysis kinetics of alkali-clearable azo disperse dyes containing a fluorosulphonyl group and their fastness properties on PET/cotton blends", Dyes Pigm., 64, 17-23, **2005**.
45. W. J. Lee, J. P. Kim, "The rate of hydrolysis of temporary solubilized disperse dyes", J. Soc. Dyers Colour. 115, 270-273, **1999**.
46. W. J. Lee, J. P. Kim, "Aftertreatment of polyester fabric dyed with temporarily solubilised disperse dyes", J. Soc. Dyers Colour. 116, 343-3458, **2000**.

How to cite this article:

Armaghan Jozi, Hossein Izadan, A Review on the Different Methods of Clearing Disperse Dyes from the Surface of the Dyed Polyester Fibre, *J. Stud. Color world,* 12, 3(2022), 243-254.

DOR: